

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-338128

(43)Date of publication of application : 08.12.2000

---

(51)Int.Cl. G01P 21/00  
G01P 15/18  
G01P 15/09  
H01L 41/08

---

(21)Application number : 2000-069860

(71)Applicant : NGK INSULATORS LTD  
NGK OPTOCERAMICS CO LTD

(22)Date of filing : 14.03.2000

(72)Inventor : TAKAHASHI HIROYUKI  
SHIBATA KAZUYOSHI  
ANDO HIDEKI

(30)Priority

Priority number : 11076768 Priority date : 19.03.1999 Priority country : JP

---

(54) SENSITIVITY EVALUATION METHOD OF ACCELERATION SENSOR ELEMENT

---

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To evaluate the main spindle sensitivity and the noise sensitivity of a detecting element by measuring the output of each detecting element when an acceleration sensor element is fixed to a vibration tensting machine, and vibrated in the axial direction to be measured, and when each detecting element is fixed on a position rotated by 180 degrees, and vibrated.

SOLUTION: An acceleration sensor element is fixed to a vibration generating machine having an excitation shaft, and vibrated in the axial direction to be measured among the X, Y, Z three axes, and the output of a detecting element of each axis is measured. Then the acceleration sensor element is fixed to the vibration testing machine on a position rotated by 180 degrees on a center of the excitation shaft, and vibrated in the axial direction to be measured, and the output of the detecting element for each axis is measured. The acceleration sensor element consists of a weight, a support mounted near the weight and having a hollow part, the detecting elements respectively for X, Y, Z axes, capable of converting the mechanical force into an electric signal, and a flexible board balancing the weight on the center of the hollow part of the support and bringing the same. The influence of the noise vibration from the vibration generating machine can be excluded by carrying out the calculation based on two measured values.

---

LEGAL STATUS

---

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the  
examiner's decision of rejection or application  
converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of  
rejection][Date of requesting appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

**\* NOTICES \***

JPO and NCIPJ are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

**CLAIMS**

---

**[Claim(s)]**

[Claim 1] It is the approach of evaluating the sensibility of the acceleration-sensor component which can detect the acceleration which acts from the outside as an acceleration component for every shaft of X, Y, and Z by the sensing element which outputs mechanical force as an electric signal. Fix said acceleration-sensor component to the vibration testing machine which has an excitation shaft, and it excites to the shaft orientations of 1 made into the measuring object among each shaft of X, Y, and Z of the acceleration-sensor component concerned. The 1st electrical output outputted from the sensing element for X, Y, and Z each shafts is measured. Subsequently In said vibration testing machine, fix said acceleration-sensor component to the location rotated 180 degrees centering on said excitation shaft, and it excites again to the shaft orientations of 1 made into said measuring object. X, Y, the sensitivity-evaluation approach of the acceleration-sensor component characterized by measuring the 2nd electrical output outputted from the sensing element for Z each shafts.

[Claim 2] The sensitivity-evaluation approach of the acceleration-sensor component according to claim 1 which is an acceleration-sensor component constituted as resemble the flexible plate constructed horizontally across the bridge abutment so that the acceleration-sensor component set as the object of sensitivity evaluation might have a sensing element for weight, bridge abutment [ which was attached near / concerned / the weight / which has a centrum ], X [ which outputs mechanical force as an electric signal ], Y, and Z each shafts and might hang a weight at the core of the centrum of said bridge abutment.

---

[Translation done.]

---

**\* NOTICES \***

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

**DETAILED DESCRIPTION**

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the approach of evaluating the sensibility of the acceleration-sensor component which can detect the acceleration which acts from the outside as an acceleration component for every shaft of X, Y, and Z by the sensing element which outputs mechanical force, such as a piezo-electric mold component, as an electric signal.

[0002]

[Description of the Prior Art] In an automobile industry or machine industry, the need of the sensor which can detect physical quantity, such as force, acceleration, and MAG, to accuracy is increasing. A small sensor which can detect such physical quantity for every component of-dimensional [ 2 ] or three dimensions especially is desired. For example, the sensor which laid two or more piezo electric crystals on the flexible plate which has an operation object is exhibited (JP,5-26744,A).

[0003] This sensor is constituted so that a flexible plate may deform from the exterior corresponding to the physical quantity which acts on an operation object, and it can detect the direction and magnitude of said physical quantity in three dimensions by the single sensor component with the charge generated in a piezo electric crystal according to distortion by deformation of the flexible plate concerned.

[0004] In order that an inertia force  $f$  may act on a weight 10 in the direction which disagrees with acceleration  $a$  when acceleration  $a$  acts from the exterior to a sensor component as shown in drawing 2 if the example of the acceleration sensor used as the weight explains an operation object, the deformation accompanying an inertia force  $f$  arises in the flexible plate 12 constructed across horizontally between the weight 10-bridge abutments 11.

[0005] Since the charge according to the direction of polarization and magnitude of the piezo electric crystal 13 laid on the direction of distortion and magnitude by the deformation concerned, and a flexible plate 12 is generated in a piezo electric crystal 13, it becomes possible by outputting the charge concerned as an electric signal from the up electrodes 17x, 17y, and 17z and the lower electrode 18 to detect the direction and magnitude of acceleration which act from the outside.

[0006]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] Although an above-mentioned acceleration-sensor component originates in it being what detects the acceleration which acts from the outside as an acceleration component for every shaft of X, Y, and Z, for example, the weight has received acceleration only in X shaft orientations, the sensibility of Y shaft orientations and Z shaft orientations may be shown (such sensibility is hereafter called "noise sensibility").

[0007] In order to collateralize the dependability of a sensor, since existence of noise sensibility is not desirable, it needs to control the ratio of the noise sensibility to the sensibility (such sensibility is hereafter called "main shaft sensibility") of X shaft orientations which should be detected if it says in the aforementioned example within the predetermined range (when for example, main shaft sensibility is made into 100%, noise sensibility is 5 etc.% or less etc.).

[0008] However, since it is very difficult to make noise sensibility to 0 in the production process of an acceleration-sensor component, the noise sensibility of the manufactured acceleration-sensor component is evaluated to accuracy, and the sensitivity calibration is performed so that noise sensibility may be controlled with trimmings, such as capacitance trimming which excises some electrodes which constitute the polarization trimming or the piezo-electric mold component which adjusts whenever [ polarization / of the piezo electric crystal which constitutes a piezo-electric mold component ].

[0009] Generally, to the vibration testing machine which has excitation shafts, such as for example, an electrodynamic type vibration testing machine, it fixes and the sensitivity evaluation of an acceleration-sensor component is excited so that one shaft of X of an acceleration-sensor component, Y, and Z may be in agreement with the excitation shaft of a vibration testing machine, and it is performed by measuring the charge or electrical potential difference outputted from the piezo-electric mold component for X, Y, and Z each shafts.

[0010] For example, as shown in drawing 1, a vibration testing machine 1 is equipped with the bell shape pedestal 3 which equipped inner skin with the coil 2 for excitation (or permanent magnet), and the oscillating object 5 of the shape of a cylinder hung by the flat spring 4 focusing on the cylindrical centrum of a pedestal 3, and the oscillating object 5 is formed in the coil 6 for actuation, and one.

[0011] A field can be formed with the electromagnet (or permanent magnet) formed of the energization to the coil 2 for excitation, and, according to the vibration testing machine 1, the oscillating object 5 can be vibrated in the vertical direction by setting an excitation shaft as the medial axis of the cylindrical centrum of a pedestal 3 by energizing alternating current in the coil 6 for actuation in the field concerned (such an oscillation is hereafter called "main shaft oscillation").

[0012] therefore — both [ for example, the sensibility (main shaft sensibility) of the shaft orientations X which should detect essentially if the charge or the electrical potential difference which fixes to the top face of the oscillating object 5, excites the X-axis of an acceleration-sensor component so that it may be in agreement with said excitation shaft, and is outputted from the piezo-electric mold component for X, Y, and Z each shafts measures, and the sensibility (noise sensibility) of the shaft orientations Y which should detect and which do not come out, and shaft orientations Z — although — it should be able to evaluate to accuracy — it comes out.

[0013] However, it originates in that there is variation in the spring nature of two or more flat springs which hang the oscillating object of \*\* vibration testing machine actually, and it be difficult etc. to balance a load thoroughly and to adjust balance at the time of immobilization on the oscillating object of \*\* acceleration-sensor component, and the case where the oscillating component (such an oscillating component is hereafter call "noise oscillation".) which intersects perpendicularly not only with a main shaft oscillation but with this occurs may arise.

[0014] Since it will be the component which vibrates the acceleration-sensor component on an oscillating object to Y shaft orientations or Z shaft orientations if said noise oscillation is said in an above-mentioned example, the acceleration-sensor component on an oscillating object will not vibrate only to X shaft orientations.

[0015] That is, in such a case, the sensibility of the component for Y-axes and the component for the Z-axes had the problem that only a value including the effect of a noise oscillation could estimate, and noise sensibility could not be evaluated to accuracy. If noise sensibility cannot evaluate to accuracy, since the sensitivity calibration which controls noise sensibility cannot be performed, either, it leads to lowering of the dependability of an acceleration-sensor component and is not desirable.

[0016] The place which this invention is made in view of the above-mentioned situation, and is made into the object is by eliminating the effect of a noise oscillation to offer the sensitivity-evaluation approach of an acceleration-sensor component that each of main shaft sensibility of an acceleration-sensor component and noise sensibility can be evaluated to accuracy.

[0017]

[Means for Solving the Problem] According to this invention, by namely, the sensing element which outputs mechanical force as an electric signal It is the approach of evaluating the sensibility of the acceleration-sensor component which can detect the acceleration which acts from the outside as an acceleration component for every shaft of X, Y, and Z. Fix said acceleration-sensor component to the vibration testing machine which has an excitation shaft, and it excites to the shaft orientations of 1 made into the measuring object among each shaft of X, Y, and Z of the acceleration-sensor component concerned. The 1st electrical output outputted from the sensing element for X, Y, and Z each shafts is measured. Subsequently In said vibration testing machine, fix said acceleration-sensor component to the location rotated 180 degrees centering on said excitation shaft, and it excites again to the shaft orientations of 1 made into said measuring object. The sensitivity-evaluation approach of the acceleration-sensor component characterized by measuring the 2nd electrical output outputted from the sensing element for X, Y, and Z each shafts is offered.

[0018] The acceleration-sensor component constituted as resemble the flexible plate constructed horizontally across the bridge abutment so that it might have a sensing element for bridge abutment [ which was attached near the weight and the weight concerned / which has a centrum ], X [ which outputs mechanical force as an electric signal ], Y, and Z each shafts as an acceleration-sensor component set as the object of the sensitivity-evaluation approach of this invention and a weight might be hung at the core of the centrum of said bridge abutment is mentioned.

[0019]

[Embodiment of the Invention] The sensor component which the acceleration-sensor component (only henceforth a "sensor component") set as the object of the sensitivity-evaluation approach of this invention consists of with the flexible plate 12 constructed across horizontally between the bridge abutments 11 which counter so that it may have a weight 10, the bridge abutment 11 attached around about ten weight, and the sensing element which outputs mechanical force as an electric signal and a weight 10 may be hung, as shown in drawing 2 is mentioned.

[0020] In the weight 10 in said sensor component, it is a member for making a flexible plate 12 produce deformation according to the force which generated the upper bed side based on the magnitude of the acceleration which was hung so that a flexible plate 12 might be contacted, and which acts from the outside, and a direction.

[0021] A flexible plate 12 may be pasted with adhesives etc., or a weight may a flexible plate 12 and really be fabricated. As for a weight, it is desirable to hang from the field of symmetric property to the core of a flexible plate.

[0022] A weight is not limited especially as long as it is the configuration which can hang an upper bed side so that a flexible plate may be contacted, but that from which an outer diameter changes continuously or

discontinuously is also included like others, a truncated cone, and a different diameter cylinder. [tubed] However, the shape of a cylinder as shown in drawing 2 in the point that the symmetric property over a X-Y flat surface is high is desirable.

[0023] Although especially the construction material of a weight is not limited, either, it is desirable for there to be sufficient mass, to be hard to be influenced of an electromagnetic wave in addition to a consistency being high, and to constitute with the ceramics which is construction material with a low coefficient of thermal expansion.

[0024] In the bridge abutment 11 in said sensor component, it is a member for supporting the flexible plate 12 and weight 10 around which the weight 10 was attached as a core. Therefore, as long as it has the reinforcement which can support a flexible plate 12 and a weight 10, the configuration, especially construction material, etc. are not limited.

[0025] However, processing is easy, the configuration in which an external configuration as shown in drawing 2 has the cylindrical centrum 16 by the shape of the square pole in the point that the symmetric property over an X-Y flat surface is comparatively high is desirable, rigidity is high and it is desirable to constitute with the ceramics which is the construction material which cannot be easily influenced of an electromagnetic wave.

[0026] In the flexible plate 12 in said sensor component, it is the plate-like part material which was constructed across horizontally between the bridge abutments 11 which hang a weight 10 and counter and which has a sensing element, and the sensing element which outputs mechanical force as an electric signal is arranged. Unless a flexible plate has flexibility and damages it by the behavior of a weight, although a configuration, especially construction material, etc. are not limited, it is desirable in a point with easy processing to constitute with the plate 12 of one sheet, as shown in drawing 2.

[0027] As a sensing element, although the sensing element of a piezo-electric mold, an electrodynamic type, a servo mold, a strain gage mold, and an electrostatic-capacity mold is mentioned, for example, it is desirable that it is the piezo-electric mold component (only henceforth a "piezoelectric device") which comes to pinch a piezo electric crystal as shown in drawing 2 in a broadband, high sensitivity, and the lightweight point about being small in this invention with 1 set of electrodes (an up electrode and lower electrode) from a vertical side.

[0028] When a sensing element is a piezoelectric device, Young's modulus is high and it is desirable to constitute a flexible plate from ceramics which is easy to carry out induction of the distortion to a piezo electric crystal. Moreover, the whole flexible plate may consist of piezo electric crystals.

[0029] As a piezo electric crystal which constitutes a piezoelectric device, although electrostrictive ceramics, organic piezo electric crystals, etc., such as PZT, PMN, and PNN, can be used, it is desirable to use PZT which is excellent in a piezo-electric property. Although especially the configuration of a piezo electric crystal is not limited, as shown, for example in drawing 2, a piezo electric crystal 13 can be formed in the whole top face of a flexible plate 12.

[0030] Furthermore, in a piezoelectric device, need to classify an up electrode, a piezo electric crystal, and a lower electrode, and it is not necessary to necessarily form them for every piezoelectric device, as shown in drawing 2, they may form the lower electrode 18 and a piezo electric crystal 13 in the whole top face of a flexible plate 12, and they may form piezoelectric devices 14x, 14y, and 14z by classifying and arranging only the up electrodes 17x, 17y, and 17z.

[0031] If the acceleration which acts from the outside can be detected as an acceleration component for every shaft of X, Y, and Z, it is sufficient for the acceleration-sensor component set as the object of the sensitivity-evaluation approach of this invention, and it does not require that it is what detects the acceleration component of all the shafts of X, Y, and Z with single weight and flexible plate. For example, you may be 1 set of sensor components which come to combine three sets of the sensor components corresponding to each shaft of X, Y, and Z.

[0032] However, in this invention, an acceleration-sensor component has a piezoelectric device for X, Y, and Z each shafts on the flexible plate of 1, and can use suitably especially to the acceleration-sensor component (such a sensor component is hereafter called "3 axial sensor component".) which can detect the acceleration which acts from the outside as an acceleration component for every shaft of X, Y, and Z by the single sensor component.

[0033] Although it is also possible in the case of 1 set of sensor components which come to combine three sets of the sensor components mentioned already to combine after carrying out sensitivity evaluation of each of three sets of sensor components and proofreading it. It is because it is difficult to take such an approach on the structure of having all piezoelectric devices on the flexible plate of 1 in the case of 3 shaft sensor component, so can evaluate the both sides of main shaft sensibility and noise sensibility and they cannot be proofread to accuracy, if it is not an approach like this invention.

[0034] As shown in drawing 2, the piezoelectric device for each shafts of 3 shaft sensor component is constituted by at least one pair of piezoelectric devices arranged in the location which carries out the phase symmetry a core [a weight 10]. As for the thing for X and Y-axes in the piezo electric crystal which constitutes one pair of piezoelectric devices concerned, polarization processing of the same magnitude is mutually performed to reversed polarity by like-pole nature, as for each thing for the Z-axes.

[0035] The charge of reversed polarity generated in piezoelectric-device 14y for piezoelectric-device 14x and the Y-axes which are not illustrated for the X-axes when a weight 10 vibrated to Z shaft orientations by such polarization processing, as shown in drawing 3 (b) is offset mutually, and an electric signal is not outputted. On the other hand As shown in drawing 3 (c), when a weight 10 vibrates to X and Y shaft orientations, the charge

of reversed polarity generated in piezoelectric-device 14z for the Z-axis is offset mutually, and an electric signal is not outputted.

[0036] That is, since the component for X, Y, and Z each shaft of every can be detected without being influenced [ which acts on other shaft orientations ] of acceleration, it becomes possible by compounding the component concerned to detect the direction and magnitude of acceleration which act from the outside in three dimensions by the single sensor component.

[0037] After the above sensor components of a configuration carry out the laminating of two or more green sheets cut in the fault configuration of the configuration of a sensor component and stick them to one by pressure, by being able to fabricate with the green sheet laminated layers method to calcinate, using the technique of thick-film methods, such as screen-stencil, for the Plastic solid concerned, and forming a lower electrode, a piezo electric crystal, and an up electrode, they are small and can manufacture the sensor component of high sensitivity and high degree of accuracy simple.

[0038] The electrodynamic type vibration testing machine with which it had the bell shape pedestal 3 which equipped with the coil 2 for excitation (or permanent magnet) inner skin as the vibration testing machine used for the sensitivity-evaluation approach of this invention meant the vibration testing machine which has an excitation shaft, for example, shown in drawing 1 R> 1, and the oscillating object 5 of the shape of a cylinder hung by the flat spring 4 focusing on the cylindrical centrum of a pedestal 3, and the oscillating object 5 was formed in the coil 6 for actuation and one is mentioned.

[0039] Although the electrodynamic type vibration testing machine of drawing 1 vibrates the oscillating object 5 by energization of alternating current by setting an excitation shaft as the medial axis of the cylindrical centrum of a pedestal 3 It is the oscillating component (such an oscillating component is hereafter called "noise oscillation".) which originates in the variation in the spring nature in two or more flat springs of \*\* vibration testing machine, the imbalance of the load at the time of immobilization on the oscillating object of \*\* sensor component, and \*\*, and intersects perpendicularly with the medial axis of the cylindrical centrum of a pedestal 3 actually. Since it contains, it is necessary to eliminate the effect.

[0040] Then, in this invention, the electrical output outputted from a sensing element in two locations for 180 degree centering on an excitation shaft is measured. About the measured value of two sorts of electrical outputs concerned, by performing mathematical processing which is mentioned later, for example, the effect of a noise oscillation of a vibration testing machine can be offset, and it becomes possible to evaluate each of main shaft sensibility of a sensor component, and noise sensibility to accuracy.

[0041] Although the measurement of an electrical output at the time of using the vibration testing machine of drawing 1 and vibrating a sensor component to X shaft orientations hereafter (when main shaft oscillations being X shaft orientations) and the example of mathematical processing are explained, also when vibrating Y shaft orientations and Z shaft orientations, the same approach can completely be used (when a main shaft oscillation is Y shaft orientations or Z shaft orientations).

[0042] (Measurement of an electrical output) A sensor component is first fixed to a vibration testing machine 1. An acceleration-sensor component is fixed to oscillating object 5 top face so that the excitation shaft of a vibration testing machine 1 and X shaft orientation of the sensor component made into the measuring object may be in agreement.

[0043] Subsequently, by energizing a current in the coil 2 for excitation of a vibration testing machine 1, and energizing alternating current in the coil 6 for actuation further, a sensor component is excited to X shaft orientations, and the electrical output outputted from the sensing element for X, Y, and Z each shafts is measured and recorded (henceforth "measured value of the 1st electrical output").

[0044] Furthermore, it is oscillating object 5 top face of a vibration testing machine 1, a sensor component is fixed to the location rotated 180 degrees on the basis of the medial axis of the oscillating cylinder-like object 5, a sensor component is again excited to X shaft orientations, and an electrical output is measured and recorded similarly (henceforth "measured value of the 2nd electrical output").

[0045] For example, when a sensing element is a piezoelectric device, the electrical potential difference produced in connection with the charge generated in the piezo electric crystal which constitutes the piezoelectric device concerned as an "electrical output" to measure, or the charge concerned is mentioned. In this case, it is desirable to measure an electrical potential difference in the point which can measure a charge comparatively simple in the point of being hard to be influenced of KYAPANSHI wardrobe components, such as lead wire.

[0046] Moreover, in case an electrical output is measured, the input voltage of a vibration testing machine is adjusted so that the acceleration component of X shaft orientations of the oscillation at the time of measuring the 1st electrical output and the acceleration component of the X-axis of the oscillation at the time of measuring the 2nd electrical output may become equal. By carrying out like this, it is because the mathematical processing mentioned later will become easy.

[0047] although all of the measured value of the 1st electrical output measured as mentioned above and the measured value of the 2nd electrical output be the variation in the spring nature in two or more flat springs of \*\* vibration testing machine, the imbalance of the load at the time of immobilization on the oscillating object of \*\* sensor component, and a value including the effect of the noise oscillation ( oscillating component of the shaft orientations which intersect perpendicularly with the excitation direction ) resulting from \*\*, the effect of a noise oscillation can offset by performing the mathematical processing which mention later, for example.

[0048] (Mathematical processing) The measured value  $V_{x1}$ ,  $V_{y1}$ , and  $V_{z1}$  of the 1st electrical output from the

sensing element for X [ at the time of exciting a sensor component to X shaft orientations as mentioned above ], Y, and Z each shafts is values including the effect of the acceleration components Ay1 (Y shaft orientations) and Az1 (Z shaft orientations) of a noise oscillation of not only the acceleration component Ax1 (X shaft orientations) of a main shaft oscillation of a shaker but a shaker. About this point, the same is said of the measured value of the 2nd electrical output.

[0049] Moreover, to the sensibility (main-shaft sensibility: xx) to the acceleration of X shaft orientations, the sensing element for the X-axes is a fixed ratio, and has the sensibility (noise sensibility: xy, xz) to the acceleration of Y shaft orientations and Z shaft orientations. The same is said of the sensing element (yx:yy:yz) for [ point / this ] Y-axes, and the sensing element (zx:zy:zz) for the Z-axes.

[0050] The mutual relation of sensibility \*\* of the electrical output from the sensing element under the above conditions, the acceleration component added actually, and a sensing element can be expressed about the measured value of the 1st electrical output like [ measured value / of the following type 1 and the 2nd electrical output ] the following type 2.

[0051]

[Formula 1]

$$\begin{pmatrix} V_{x1} \\ V_{y1} \\ V_{z1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} xx & xy & xz \\ yx & yy & yz \\ zx & zy & zz \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A_{x1} \\ A_{y1} \\ A_{z1} \end{pmatrix}$$

[0052]

[Formula 2]

$$\begin{pmatrix} V_{x2} \\ V_{y2} \\ V_{z2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} xx & xy & xz \\ yx & yy & yz \\ zx & zy & zz \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A_{x2} \\ A_{y2} \\ A_{z2} \end{pmatrix}$$

[0053] Here, if phase comparison of beta and Az1 is set to gamma for phase comparison of the acceleration component Ay1 of the noise oscillation at the time of setting the acceleration component Ax1 of X shaft orientations to 100, the following formula 3 will be materialized at the time of the 1st electrical output measurement.

[0054]

[Formula 3]

$$\begin{pmatrix} A_{x1} \\ A_{y1} \\ A_{z1} \end{pmatrix} = \frac{A_{x1}}{100} \begin{pmatrix} 100 \\ \beta \\ \gamma \end{pmatrix}$$

[0055] On the other hand, at the time of the 2nd electrical output measurement after 180-degree revolution, although the magnitude of a noise oscillation is the same, in order to completely act towards reverse to a sensor component, the sign of beta and gamma reverses a sensor component, and the following formula 4 is materialized.

[0056]

[Formula 4]

$$\begin{pmatrix} A_{x2} \\ A_{y2} \\ A_{z2} \end{pmatrix} = \frac{A_{x2}}{100} \begin{pmatrix} 100 \\ -\beta \\ -\gamma \end{pmatrix}$$

[0057] The following formula 6 can be drawn by substituting a formula 3 to a formula 1 by substituting a formula 4 for the following formula 5 to a formula 2.

[0058]

[Formula 5]

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} V_{x1} \\ V_{y1} \\ V_{z1} \end{pmatrix} &= \frac{A_{x1}}{100} \begin{pmatrix} xx & xy & xz \\ yx & yy & yz \\ zx & zy & zz \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 100 \\ \beta \\ \gamma \end{pmatrix} \\ &= \frac{A_{x1}}{100} \begin{pmatrix} 100xx + \beta xy + \gamma xz \\ 100yx + \beta yy + \gamma yz \\ 100zx + \beta zy + \gamma zz \end{pmatrix} \end{aligned}$$

[0059]

[Formula 6]

$$\begin{pmatrix} V_{x2} \\ V_{y2} \\ V_{z2} \end{pmatrix} = \frac{A_{x2}}{100} \begin{pmatrix} 100xx - \beta_{xy} - \gamma_{xz} \\ 100yx - \beta_{yy} - \gamma_{yz} \\ 100zx - \beta_{zy} - \gamma_{zz} \end{pmatrix}$$

[0060] Since the input voltage of a vibration testing machine is adjusted so that the acceleration component  $A_{x1}$  of X shaft orientations of the oscillation at the time of measuring the 1st electrical output and the acceleration component  $A_{x2}$  of the X-axis of the oscillation at the time of measuring the 2nd electrical output may become equal in case an electrical output is measured like previous statement, the following formula 7 is realized.

[0061]

[Formula 7]

$$A_{x1} = A_{x2} = A_x$$

[0062] Therefore, the following formula 8 by which the term of the noise oscillations beta and gamma was eliminated from the sum of a formula 5 and a formula 6 can be drawn. It can ask for the noise sensibility  $y_x$  and  $z_x$  of the sensing element for Y-axes, and the sensing element for the Z-axes which does not include the main shaft sensibility  $xx$  of the sensing element for the X-axes to the acceleration of X shaft orientations, and the effect of a noise oscillation from a formula 8.

[0063]

[Formula 8]

$$\begin{pmatrix} xx \\ yx \\ zx \end{pmatrix} = \frac{1}{2 A_x} \begin{pmatrix} V_{x1} + V_{x2} \\ V_{y1} + V_{y2} \\ V_{z1} + V_{z2} \end{pmatrix}$$

[0064] On the other hand, the following type 9 can be drawn from the difference of a formula 5 and a formula 6. In this case, since output component  $\beta_{xy}$ ,  $\gamma_{maxz}$ ,  $\gamma_{mayz}$ , and  $\beta_{azy}$  are the noise sensibility about a noise oscillation, as compared with output component  $\beta_{ayy}$  and  $\gamma_{mazz}$  which are the main shaft sensibility about a noise oscillation, they serve as a very small value and can be disregarded. Therefore, a formula 9 can be approximated like a formula 10 and can also calculate the approximate value of the phase comparison beta of the acceleration component of Y shaft orientations of a noise oscillation, and the phase comparison gamma of the acceleration component of Z shaft orientations.

[0065]

[Formula 9]

$$\begin{pmatrix} \beta_{xy} + \gamma_{xz} \\ \beta_{yy} + \gamma_{yz} \\ \beta_{zy} + \gamma_{zz} \end{pmatrix} = \frac{50}{A_x} \begin{pmatrix} V_{x1} - V_{x2} \\ V_{y1} - V_{y2} \\ V_{z1} - V_{z2} \end{pmatrix}$$

[0066]

[Formula 10]

$$\begin{pmatrix} \beta \\ \gamma \end{pmatrix} = \frac{50}{A_x} \begin{pmatrix} \frac{V_{y1} - V_{y2}}{yy} \\ \frac{V_{z1} - V_{z2}}{zz} \end{pmatrix}$$

[0067] It becomes possible to offset the effect of a noise oscillation of a vibration testing machine, and to evaluate each of main shaft sensibility of a sensor component, and noise sensibility by mathematical processing like previous statement to accuracy.

[0068] However, the oscillation added in a shaker is a sine wave, for example, when an oscillating object draws an ellipse-like orbit and vibrates, the phase of a main shaft oscillation and a noise oscillation is not necessarily in agreement. Therefore, it is necessary to care about the point that phase lag  $\theta_{yay}$  of a noise oscillation and  $\theta_{zaz}$  must be taken into consideration as actually shown in a formula 11.

[0069]

[Formula 11]



$$\begin{pmatrix} A_x \\ A_y \\ A_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_x \sin(\omega t) \\ A_y \sin(\omega t + \theta_y) \\ A_z \sin(\omega t + \theta_z) \end{pmatrix}$$

[0070]

[Example] Hereafter, an example explains the sensitometry approach of this invention to a detail further. The electrodynamic type vibration testing machine of the structure shown in drawing 1 as a vibration testing machine in this example was performed by measuring an electrical potential difference as an electrical output.

[0071] Immobilization of a sensor component was performed using the fixtures 22, 23, and 26 shown in drawing 4. A fixture 22 is box-like [equipped with opening 22c of the sensor component 20 and an abbreviation same configuration], and bolthole 22b is formed in 22d of striations for pulling out a coaxial line 21, and four corners in female screw 22a and the center of the side.

[0072] A fixture 23 is plate-like and bolthole 23b is formed in four corners in bolthole 23a and the center of the side like the fixture 22. Moreover, a fixture 26 is a regular hexahedron which makes the same fixtures 22 and 23 and die length of one side, and female screw 26b is formed in four corners in bolthole 26a and the center of the side. Furthermore, it had trouble on the oscillating object 28 of a vibration testing machine, screw-thread 28a was formed, and the standard acceleration pickup 31 was fixed with the instantaneous adhesive near the female screw 28a.

[0073] First, the sensor component 20 which soldered the coaxial line 21 for detecting a charge is stuck on a fixture 22 with adhesives, and it screws on and fixes so that the sensor component 20 may be pinched between fixtures 23 using a bolt 25 (this member is hereafter called "member 30 for immobilization"). On the other hand, using a bolt 27, a fixture 26 and the oscillating object 28 of a vibration testing machine are screwed on, it fixes, and level adjusts the horizontal of a fixture 26.

[0074] Subsequently, the sensor component 20 and the oscillating object 28 of a vibration testing machine were fixed by being acceptable fixture 26 with the boltholes 22b and 23b of the member 30 for immobilization, carrying out alignment of the screw-thread 26b, and screwing the member 30 for immobilization, and a fixture 26 on using a bolt 24.

[0075] If a model is made and the sensor component 20 is explained as shown in drawing 5 (b), the attaching position to the fixture 26 in the case of vibrating the sensor component 20 to X shaft orientations will turn into a location shown in drawing 6 (a), and the attaching position rotated 180 degrees will turn into a location shown in drawing 6 (b). What is necessary is just to attach the sensor component 20 in the location shown in drawing 8, in vibrating Y shaft orientations similarly and vibrating drawing 7 and Z shaft orientations.

[0076] In addition, when making X and a Y-axis into the measuring object, since the member 30 for immobilization was attached in the side face of a fixture 26, it screwed the dummy fixture 29 of the same configuration as the member 30 for immobilization, and the same weight on the rear face of the field in which the member 30 for immobilization of a fixture 26 was attached, fixed to it, and balanced weight.

[0077] First, the member 30 for immobilization containing the sensor component 20 was fixed to the location of drawing 6 (a), and in the oscillation frequency of 80Hz, the oscillation of a vibration testing machine was adjusted so that the maximum acceleration  $A_{x1}$  of X shaft orientations of the standard pickup 31 stuck at the oscillating object 28 of a vibration testing machine might serve as a sine wave of 10 m/s<sup>2</sup>. In this condition, it measured about the 1st electrical output  $V_{x1}$ ,  $V_{y1}$ , and  $V_{z1}$  from the sensor component 20, i.e., the measured value of the electrical potential difference generated in the piezoelectric device for each shafts, and the phase of each oscillation.

[0078] Moreover, the attaching position of the member 30 for immobilization and the dummy fixture 29 is replaced. An oscillation of a vibration testing machine is adjusted. (— namely, the location rotated 180 degrees — attaching —) — so that the maximum acceleration  $A_{x2}$  of X shaft orientations may serve as a sine wave of 10 m/s<sup>2</sup> similarly. It recorded about the 2nd electrical output  $V_{x2}$ ,  $V_{y2}$ , and  $V_{z2}$  from the sensor component 20, i.e., the measured value of the electrical potential difference generated in the piezoelectric device for each shafts, and the phase lag of each oscillation. These results are shown in a table 1 and drawing 9 (a) - (c).

[0079]

[A table 1]

	感度出力 (mV)			位相遅れ (msec)		
	X軸用素子	Y軸用素子	Z軸用素子	X軸用素子	Y軸用素子	Z軸用素子
第1の電圧	50	1.0	2.1	0.0	0.7	-1.6
	$V_{x1}$	$V_{y1}$	$V_{z1}$			
第2の電圧	50	2.8	2.5	0.0	-0.3	1.3

	Vx2	Vy2	Vz2			
--	-----	-----	-----	--	--	--

[0080] Furthermore, as shown in drawing 9 (a) - (c), 1/2 of the sum of the measured value of the 1st electrical potential difference and the measured value of the 2nd electrical potential difference and one half of the graphs of a difference were plotted for every shaft, respectively, and the peak value in each graph was read in the measured value Vx1, Vy1, and Vz1 of the 1st electrical potential difference, and the measured value Vx2, Vy2, and Vz2 of the 2nd electrical potential difference. The result is shown in a table 2.

[0081]

[A table 2]

	感度出力 (mV)			位相遅れ (msec)		
	X軸用 素子	Y軸用 素子	Z軸用 素子	X軸用 素子	Y軸用 素子	Z軸用 素子
和の1/2	50	1.8	1.7	0.0	0.0	0.0
	$\frac{Vx1+Vx2}{2}$	$\frac{Vy1+Vy2}{2}$	$\frac{Vz1+Vz2}{2}$			
差の1/2	0.0	1.0	1.5	0.0	0.8	3.4
	$\frac{Vx1-Vx2}{2}$	$\frac{Vy1-Vy2}{2}$	$\frac{Vz1-Vz2}{2}$			

[0082] It can set, when similarly the sensor component 20 is attached in the location of drawing 7 and a Y-axis is made into the measuring object. It can set, when it attaches in the location of drawing 8 R> 8 and the Z-axis is made into the measuring object. The measured value of the 1st and 2nd electrical potential differences and the phase lag of an oscillation in a list were measured, 1/2 of the sum of the measured value of the 1st electrical potential difference and the measured value of the 2nd electrical potential difference and one half of the graphs of a difference were plotted, respectively, and the peak value in each graph was read. The result is shown in a table 3 and a table 4.

[0083]

[A table 3]

	感度出力 (mV)		
	X軸用 素子	Y軸用 素子	Z軸用 素子
和の1/2	1.1	50	1.1
	$\frac{Vx1+Vx2}{2}$	$\frac{Vy1+Vy2}{2}$	$\frac{Vz1+Vz2}{2}$
差の1/2	1.1	0.0	1.7
	$\frac{Vx1-Vx2}{2}$	$\frac{Vy1-Vy2}{2}$	$\frac{Vz1-Vz2}{2}$

[0084]

[A table 4]

	感度出力 (mV)		
	X軸用 素子	Y軸用 素子	Z軸用 素子
和の1/2	2.5	0.2	50
	$\frac{V_{x1}+V_{x2}}{2}$	$\frac{V_{y1}+V_{y2}}{2}$	$\frac{V_{z1}+V_{z2}}{2}$
差の1/2	1.6	1.2	0.0
	$\frac{V_{x1}-V_{x2}}{2}$	$\frac{V_{y1}-V_{y2}}{2}$	$\frac{V_{z1}-V_{z2}}{2}$

[0085] From the result of a table 2 – a table 4, as the absolute value of the main shaft sensibility for X [ of a sensor component ], Y, and Z each shaft of every shows in a table 5, and the relative value of noise sensibility shows in a table 6, it is computed. Moreover, it is computed as the relative value (approximate value) of a noise oscillation of the vibration-testing-machine origin shows in a table 7.

[0086]

[A table 5]

	感度出力 (mV)		
	X軸用 素子	Y軸用 素子	Z軸用 素子
主軸感度 (絶対値)	50	50	50

[0087]

[A table 6]

	感度相対値 (%)		
	X軸用 素子	Y軸用 素子	Z軸用 素子
X軸方向 加振時	100	4	3
	xx	yx	zx
Y軸方向 加振時	2	100	2
	xy	yy	zy
Z軸方向 加振時	5	0	100
	xz	yz	zz

[0088]

[A table 7]

	振動相対値 (%)		
	X 軸方向 振動	Y 軸方向 振動	Z 軸方向 振動
X 軸方向 加振時	100	2	3
	—	$\beta$	$\gamma$
Y 軸方向 加振時	2	100	3
	$\beta$	—	$\gamma$
Z 軸方向 加振時	3	2	100
	$\gamma$	$\beta$	—

[0089]

[Effect of the Invention] As explained above, according to the sensitivity-evaluation approach of this invention, the effect of the noise oscillation originating in a vibration testing machine can be eliminated, and it becomes possible to evaluate each of main shaft sensibility of an acceleration-sensor component, and noise sensibility to accuracy.

---

[Translation done.]

## \* NOTICES \*

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

DESCRIPTION OF DRAWINGS

---

## [Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is the outline sectional view showing the example of a vibration testing machine.

[Drawing 2] It is approximate account drawing showing the example of 1 of the sensor component used for this invention, and (a) is a plan and (b) is an A-A' sectional view.

[Drawing 3] They are approximate account drawing (a) showing the actuation situation of the sensor component used for this invention, (b), and (c).

[Drawing 4] It is the outline perspective view showing the example of the fixed approach of a sensor component and a vibration testing machine.

[Drawing 5] The plan in which (a) shows the actual configuration of a sensor component, and (b) are drawings which modeled the sensor component.

[Drawing 6] They are approximate account drawing (a) showing the attaching position to the fixture in the case of vibrating a sensor component to X shaft orientations, and (b).

[Drawing 7] They are approximate account drawing (a) showing the attaching position to the fixture in the case of vibrating a sensor component to Y shaft orientations, and (b).

[Drawing 8] They are approximate account drawing (a) showing the attaching position to the fixture in the case of vibrating a sensor component to Z shaft orientations, and (b).

[Drawing 9] In the graph which shows the measurement wave at the time of vibrating a sensor component to X shaft orientations, in (a), the output of the component for the X-axes and (b) indicate the output of the component for Y-axes, and (c) indicates the output of the component for the Z-axes to be \*\*\*.

## [Description of Notations]

1 [ — A flat spring, 5 / — Oscillating object, ] — A vibration testing machine, 2 — The coil for excitation, 3 — A pedestal, 4 6 [ — A flexible plate, 13 / — Piezo electric crystal, ] — The coil for actuation, 10 — A weight, 11 — A bridge abutment, 12 14 [ — Lower electrode, ] — A piezoelectric device, 16 — A cylindrical centrum, 17 — An up electrode, 18 20 [ — Bolt, ] — A sensor component, 21 — 22 A coaxial line, 23 — 24 A fixture, 25 26 [ — A dummy fixture, 30 / — The member for immobilization, 31 / — Standard pickup, 32a / — A bonding pad (up electrode) 32b / — Bonding pad (lower electrode). ] — A fixture, 27 — A bolt, 28 — An oscillating object, 29

---

[Translation done.]

---

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-338128

(P2000-338128A)

(43) 公開日 平成12年12月8日 (2000.12.8)

(51) Int.Cl.	識別記号	F I	キーワード (参考)
G 0 1 P 21/00		G 0 1 P 21/00	
15/18		15/09	
15/09		15/00	K
H 0 1 L 41/08		H 0 1 L 41/08	Z

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号\* 特願2000-69860 (P2000-69860)  
 (22) 出願日 平成12年3月14日 (2000.3.14)  
 (31) 優先権主張番号 特願平11-76768  
 (32) 優先日 平成11年3月19日 (1999.3.19)  
 (33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000004064  
 日本碍子株式会社  
 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号  
 (71) 出願人 597003608  
 エヌジーケー・オプトセラミックス株式会  
 社  
 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号  
 (72) 発明者 高橋 宏幸  
 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号 日  
 本碍子株式会社内  
 (74) 代理人 100088616  
 弁理士 渡邊 一平

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 加速度センサ素子の感度評価方法

## (57) 【要約】

【課題】 振動試験機に由来するノイズ振動の影響を排除することができ、測定対象とする軸の感度と他の軸の感度とをいずれも正確に評価することが可能な加速度センサ素子の感度評価方法を提供する。

【解決手段】 外部から作用する加速度をX、Y、Zの各軸毎の加速度成分として検出し得る加速度センサ素子の感度評価方法である。振動試験機に加速度センサ素子を固定し、測定対象とする軸方向に加振してX、Y、Z各軸用の検出素子から出力される第1の電気的出力を測定し、次いで加振軸を中心に180°回転した位置に加速度センサ素子を固定し、測定対象とする軸方向に再度加振してX、Y、Z各軸用の検出素子から出力される第2の電気的出力を測定する。

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 機械的力を電気的信号として出力する検出素子により、外部から作用する加速度をX、Y、Zの各軸毎の加速度成分として検出し得る加速度センサ素子の感度を評価する方法であって、

加振軸を有する振動試験機に前記加速度センサ素子を固定し、当該加速度センサ素子のX、Y、Zの各軸のうち測定対象とする1の軸方向に加振して、X、Y、Z各軸用の検出素子から出力される第1の電気的出力を測定し、

次いで、前記振動試験機において、前記加振軸を中心に180°回転した位置に前記加速度センサ素子を固定し、前記測定対象とする1の軸方向に再度加振して、X、Y、Z各軸用の検出素子から出力される第2の電気的出力を測定することを特徴とする加速度センサ素子の感度評価方法。

【請求項2】 感度評価の対象となる加速度センサ素子が、重錘と、当該重錘近傍に周設された、中空部を有する支台と、機械的力を電気的信号として出力するX、Y、Z各軸用の検出素子を有し、かつ、前記支台の中空部の中心に重錘を釣支するように支台に横架された可撓板と、によって構成された加速度センサ素子である請求項1に記載の加速度センサ素子の感度評価方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、圧電型素子等の機械的力を電気的信号として出力する検出素子により、外部から作用する加速度をX、Y、Zの各軸毎の加速度成分として検出し得る加速度センサ素子の感度を評価する方法に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 自動車産業や機械産業では、力、加速度、磁気などの物理量を正確に検出できるセンサの需要が高まっている。特に、二次元あるいは三次元の各成分ごとにこれらの物理量を検出し得る小型のセンサが望まれている。例えば、作用体を有する可撓板上に複数個の圧電体を載置したセンサが公開されている（特開平5-26744号公報）。

【0003】 このセンサは、外部から作用体に作用する物理量に対応して可撓板が変形するように構成されており、当該可撓板の変形による歪みに応じて圧電体が発生する電荷により、前記物理量の方向及び大きさを単一のセンサ素子により三次元的に検出することができるものである。

【0004】 作用体を重錘とした加速度センサの例により説明すると、図2に示すように、センサ素子に対し外部から加速度aが作用した場合、重錘10には加速度aと相反する方向に慣性力fが作用するため、重錘10-支台11間に横架された可撓板12に慣性力fに伴う変形が生ずる。

【0005】 当該変形による歪みの方向及び大きさと同撓板12上に載置された圧電体13の分極方向および大きさに応じた電荷が圧電体13に発生するため、当該電荷を上部電極17x、17y、17z及び下部電極18から電気的信号として出力することにより外部から作用する加速度の方向及び大きさを検出することが可能となるのである。

## 【0006】

【発明が解決しようとする課題】 上述の加速度センサ素子は、外部から作用する加速度をX、Y、Zの各軸毎の加速度成分として検出するものであることに起因して、例えば重錘がX軸方向にのみ加速度を受けているにも拘わらず、Y軸方向、Z軸方向の感度を示す場合がある（以下、このような感度を「ノイズ感度」という。）。

【0007】 センサの信頼性を担保するためにはノイズ感度の存在は好ましくないため、前記の例でいえば検出すべきX軸方向の感度（以下、このような感度を「主軸感度」という。）に対するノイズ感度の比率を所定範囲以内（例えば主軸感度を100%とした場合にノイズ感度は5%以下など）に抑制する必要がある。

【0008】 但し、加速度センサ素子の製造工程においてノイズ感度を0に作り込むことは非常に困難であるため、製造した加速度センサ素子のノイズ感度を正確に評価して、圧電型素子を構成する圧電体の分極度を調整する分極トリミング或いは圧電型素子を構成する電極の一部を切除するキャパシタンストリミング等のトリミングによりノイズ感度を抑制するように感度校正を行っている。

【0009】 一般に、加速度センサ素子の感度評価は、例えば動電型振動試験機等の加振軸を有する振動試験機に、加速度センサ素子のX、Y、Zいずれかの軸が振動試験機の加振軸と一致するように固定して加振し、X、Y、Z各軸用の圧電型素子から出力される電荷又は電圧を測定することにより行われる。

【0010】 例えば図1に示すように、振動試験機1は、内周面に励磁用コイル（又は永久磁石）2を備えた中空円筒状の基台3と、板バネ4により基台3の円筒状中空部中心に釣支された、円筒状の振動体5とを備えたものであり、振動体5は駆動用コイル6と一体に形成されている。

【0011】 振動試験機1によれば、励磁用コイル2への通電によって形成された電磁石（若しくは永久磁石）によって磁界を形成し、当該磁界中において駆動用コイル6に交流電流を通電することにより振動体5を基台3の円筒状中空部の中心軸を加振軸として上下方向に振動させることができる（以下、このような振動を「主軸振動」という。）。

【0012】 従って、例えば加速度センサ素子のX軸を前記加振軸と一致するように振動体5の上面に固定し

て加振し、X、Y、Z各軸用の圧電型素子から出力される電荷又は電圧を測定すれば、本来検出すべきX軸方向の感度（主軸感度）と検出すべきでないY軸方向、Z軸方向の感度（ノイズ感度）のいずれもが正確に評価できるはずである。

【0013】 しかしながら、実際には、①振動試験機の振動体を釣支する複数の板パネのバネ性にはバラツキがあること、②加速度センサ素子の振動体への固定時に荷重を完全に均荷させてバランスを調整するのは困難であること、等に起因して、主軸振動のみならず、これと直交する振動成分（以下、このような振動成分を「ノイズ振動」という。）が発生する場合が生じ得る。

【0014】 前記ノイズ振動は、上述の例でいえば振動体上の加速度センサ素子をY軸方向、或いはZ軸方向に振動させる成分であるため、振動体上の加速度センサ素子はX軸方向のみに振動していないことになる。

【0015】 即ち、このような場合には、Y軸用素子、Z軸用素子の感度はノイズ振動の影響を含んだ値でしか評価できず、ノイズ感度を正確に評価することができないという問題があった。ノイズ感度が正確に評価できなければ、ノイズ感度を抑制する感度較正を行うこともできないため、加速度センサ素子の信頼性の低下につながり好ましくない。

【0016】 本発明は上記の事情に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、ノイズ振動の影響を排除することにより、加速度センサ素子の主軸感度とノイズ感度とをいずれも正確に評価することができる加速度センサ素子の感度評価方法を提供することにある。

【0017】

【課題を解決するための手段】 すなわち、本発明によれば、機械的力を電気的信号として出力する検出素子により、外部から作用する加速度をX、Y、Zの各軸毎の加速度成分として検出し得る加速度センサ素子の感度を評価する方法であって、加振軸を有する振動試験機に前記加速度センサ素子を固定し、当該加速度センサ素子のX、Y、Zの各軸のうち測定対象とする1の軸方向に加振して、X、Y、Z各軸用の検出素子から出力される第1の電気的出力を測定し、次いで、前記振動試験機において、前記加振軸を中心に180°回転した位置に前記加速度センサ素子を固定し、前記測定対象とする1の軸方向に再度加振して、X、Y、Z各軸用の検出素子から出力される第2の電気的出力を測定することとを特徴とする加速度センサ素子の感度評価方法が提供される。

【0018】 本発明の感度評価方法の対象となる加速度センサ素子としては、重錘と、当該重錘近傍に周設された、中空部を有する支台と、機械的力を電気的信号として出力するX、Y、Z各軸用の検出素子を有し、かつ、前記支台の中空部の中心に重錘を釣支するように支台に横架された可撓板と、によって構成された加速度センサ素子が挙げられる。

【0019】

【発明の実施の形態】 本発明の感度評価方法の対象となる加速度センサ素子（以下、単に「センサ素子」という。）は、例えば図2に示す如く、重錘10と、重錘10近傍に周設された支台11と、機械的力を電気的信号として出力する検出素子を有し、かつ、重錘10を釣支するように対向する支台11間に横架される可撓板12とによって構成されるセンサ素子が挙げられる。

【0020】 前記センサ素子における重錘10とは、上端面を可撓板12に当接するように釣支された、外部から作用する加速度の大きさ、方向に基づいて発生した力により、可撓板12に変形を生じさせるための部材である。

【0021】 重錘は、可撓板12に接着剤等により接着してもよく、或いは可撓板12と一体成形してもよい。重錘は、対称性の面から可撓板の中心部に釣支することが好ましい。

【0022】 重錘は、上端面を可撓板に当接するように釣支できる形状である限りにおいて特に限定されず、筒状の他、円錐台や異径円筒のように外径が連続的に或いは不連続に変化するものも包含される。但し、X-Y平面に対する対称性が高い点において図2に示すような円筒状が好ましい。

【0023】 重錘の材質も特に限定されないが、十分な質量があり密度の高いことに加えて、電磁波の影響を受け難く、熱膨張率の低い材質であるセラミックスにより構成することが好ましい。

【0024】 前記センサ素子における支台11とは、重錘10を中心として周設された、可撓板12及び重錘10を支持するための部材である。従って、可撓板12及び重錘10を支持し得る強度を有する限りにおいてその形状、材質等は特に限定されない。

【0025】 但し、加工が容易で、X-Y平面に対する対称性が比較的高い点において、図2に示すような外部形状が四角柱状で円筒状中空部16を有する形状が好ましく、剛性が高く、電磁波の影響を受け難い材質であるセラミックスにより構成することが好ましい。

【0026】 前記センサ素子における可撓板12とは、重錘10を釣支して対向する支台11間に横架された、検出素子を有する板状部材であって、機械的力を電気的信号として出力する検出素子が配設される。可撓板は、可撓性を有し、重錘の挙動により破損しない限りにおいて、形状、材質等は特に限定されないが、図2に示すように1枚の板状体12により構成することが加工が容易な点において好ましい。

【0027】 検出素子としては、例えば圧電型、応電型、サーボ型、ストレインゲージ型、静電容量型の検出素子が挙げられるが、本発明においては広帯域、高感度、小型で軽量である点において図2に示すような圧電体を上下面から1組の電極（上部電極及び下部電極）で



保持してなる圧電素子（以下、単に「圧電素子」という。）であることが好ましい。

【0028】 検出素子が圧電素子である場合には、ヤング率が高く、圧電体に歪みを誘起し易いセラミックスで可撓板を構成することが好ましい。また、可撓板全体を圧電体で構成してもよい。

【0029】 圧電素子を構成する圧電体としては、PZT、PMN、PNN等の圧電セラミックスや有機圧電体等を用いることができるが、圧電特性に優れるPZTを用いることが好ましい。圧電体の形状は特に限定されないが、例えば図2に示すように可撓板12の上面全体に圧電体13を形成することができる。

【0030】 更に、圧電素子においては、上部電極、圧電体、下部電極は、必ずしも圧電素子毎に区分して形成する必要はなく、図2に示すように下部電極18及び圧電体13を可撓板12の上面全体に形成し、上部電極17x、17y、17zのみを区分して配置することによって圧電素子14x、14y、14zを形成してもよい。

【0031】 本発明の感度評価方法の対象となる加速度センサ素子は、外部から作用する加速度をX、Y、Zの各軸毎の加速度成分として検出し得るものであれば足り、単一の重錘・可撓板によってX、Y、Zの全ての軸の加速度成分を検出するものであることを要しない。例えば、X、Y、Zの各軸に対応する3基のセンサ素子を組み合わせる1組のセンサ素子であっても良い。

【0032】 但し、本発明においては加速度センサ素子が、1の可撓板上にX、Y、Z各軸用の圧電素子を有し、外部から作用する加速度を単一のセンサ素子によりX、Y、Zの各軸毎の加速度成分として検出し得る加速度センサ素子（以下、このようなセンサ素子を「3軸センサ素子」という。）に対して特に好適に用いることができる。

【0033】 既述した3基のセンサ素子を組み合わせる1組のセンサ素子の場合には、3基のセンサ素子の各々を感度評価し校正した後、組み合わせることも可能であるが、3軸センサ素子の場合には、1の可撓板上に全ての圧電素子を有する構造上、そのような方法を採用することは困難であるため、本発明のような方法でなければ、主軸感度とノイズ感度の双方を正確に評価し校正することはできないからである。

【0034】 図2に示すように3軸センサ素子の各軸用の圧電素子は、重錘10を中心として対称する位置に配置された少なくとも1対の圧電素子により構成される。当該1対の圧電素子を構成する圧電体はX、Y軸用のものは互いに逆極性に、Z軸用のものはいずれも同極性で同じ大きさの分極処理が施されている。

【0035】 このような分極処理により、図3（b）に示すように重錘10がZ軸方向に振動した場合にはX軸用の圧電素子14x及び図示されないY軸用の圧電素子

子14yに発生した逆極性の電荷は互いに相殺されて電気的信号は出力されず、一方、図3（c）に示すように重錘10がX、Y軸方向に振動した場合にはZ軸用の圧電素子14zに発生した逆極性の電荷は互いに相殺され、電気的信号は出力されない。

【0036】 即ち、他の軸方向に作用する加速度の影響を受けることなく、X、Y、Z各軸毎の成分を検出することができるため、当該成分を合成することにより外部から作用する加速度の方向及び大きさを単一のセンサ素子によって三次元的に検知することが可能となる。

【0037】 以上のような構成のセンサ素子は、センサ素子の形状の断層形状に切断した複数のグリーンシートを積層し、一体に圧着した後、焼成する、グリーンシート積層法により成形でき、当該成形体にスクリーン印刷等の厚膜法の技術を用いて下部電極、圧電体、上部電極を形成することにより小型で高感度かつ高精度のセンサ素子を簡便に製造することが可能である。

【0038】 本発明の感度評価方法に使用する振動試験機とは、加振軸を有する振動試験機をいい、例えば図1に示すような、内周面に励磁用コイル（又は永久磁石）2を備えた中空円筒状の基台3と、板バネ4により基台3の円筒状中空部中心に釣支された、円筒状の振動体5とを備え、振動体5が励磁用コイル6と一体に形成された、励磁型振動試験機等が挙げられる。

【0039】 図1の励磁型振動試験機は、交流電流の通電により基台3の円筒状中空部の中心軸を加振軸として振動体5を振動させるが、実際には、①振動試験機の複数の板バネにおけるバネ性のバラツキ、②センサ素子の振動体への固定時における荷重の不均衡、等に起因して、基台3の円筒状中空部の中心軸と直交する振動成分（以下、このような振動成分を「ノイズ振動」という。）を含むため、その影響を排除する必要がある。

【0040】 そこで、本発明においては、加振軸を中心として180°対象の2つの位置において検出素子から出力される電気的出力を測定する。当該2種の電気的出力の測定値については、例えば後述するような数学的处理を施すことにより、振動試験機のノイズ振動の影響を相殺することができ、センサ素子の主軸感度とノイズ感度とをいずれも正確に評価することが可能となる。

【0041】 以下、図1の振動試験機を使用して、センサ素子をX軸方向に振動させた場合（主軸振動がX軸方向の場合）の電気的出力の測定、及び数学的处理の例を説明するが、Y軸方向、Z軸方向に振動させた場合（主軸振動がY軸方向、或いはZ軸方向の場合）も全く同様の方法を用いることができる。

【0042】（電気的出力の測定）まず、振動試験機1にセンサ素子を固定する。振動試験機1の加振軸と、測定対象とするセンサ素子のX軸の方向とが一致するように、加速度センサ素子を振動体5上面に固定する。

【0043】 次いで、振動試験機1の励磁用コイル2

に電流を通電し、更に駆動用コイル8に交流電流を通電することにより、センサ素子をX軸方向に加振し、X、Y、Z各軸用の検出素子から出力される電気的出力を測定し、記録する（以下、「第1の電気的出力の測定値」という。）。

【0044】更に、振動試験機1の振動体5上面であって、円筒状の振動体5の中心軸を基準として180°回転した位置にセンサ素子を固定し、再度センサ素子をX軸方向に加振して同様に電気的出力を測定し、記録する（以下、「第2の電気的出力の測定値」という。）。

【0045】例えば検出素子が圧電素子である場合には、測定する「電気的出力」としては、当該圧電素子を構成する圧電体に発生する電荷若しくは当該電荷に伴い生ずる電圧等が挙げられる。この場合においては、リード線等のキャパシタンス成分の影響を受け難い点においては電荷を、比較的簡単に測定できる点においては電圧を測定することが好ましい。

【0046】また、電気的出力を測定する際には、第1の電気的出力を測定する際の振動のX軸方向の加速度成分と、第2の電気的出力を測定する際の振動のX軸の加速度成分が等しくなるように振動試験機の入力電圧を調整する。こうすることにより、後述する数学的処理が容易なものとなるからである。

【0047】上述のように測定した第1の電気的出力の測定値と第2の電気的出力の測定値は全て、①振動試験機の複数の板バネにおけるバネ性のバラツキ、②センサ素子の振動体への固定時における荷重の不均衡、等に起因するノイズ振動（加振方向と直交する軸方向の振動成分）の影響を含む値であるが、例えば後述するような数学的処理を施すことにより、ノイズ振動の影響を相殺することができる。

【0048】（数学的処理）上述のようにセンサ素子をX軸方向に加振した場合における、X、Y、Z各軸用の検出素子からの第1の電気的出力の測定値 $V_{x1}$ 、 $V_{y1}$ 、 $V_{z1}$ は加振機の主軸振動の加速度成分 $A_{x1}$ （X軸方向）のみならず、加振機のノイズ振動の加速度成分 $A_{y1}$ （Y軸方向）、 $A_{z1}$ （Z軸方向）の影響を含む値である。この点については第2の電気的出力の測定値についても同様である。

【0049】また、X軸用検出素子はX軸方向の加速度に対する感度（主軸感度： $xx$ ）に対して一定の比率で、Y軸方向、Z軸方向の加速度に対する感度（ノイズ感度： $xy$ 、 $xz$ ）を有している。この点についてはY軸用の検出素子（ $yx$ ： $yy$ ： $yz$ ）、Z軸用の検出素子（ $zx$ ： $zy$ ： $zz$ ）についても同様である。

【0050】上述のような条件下における、検出素子からの電気的出力、実際に加わった加速度成分、及び検出素子の感度、の相互の関係は、第1の電気的出力の測定値については下記式1、第2の電気的出力の測定値については下記式2のように表すことができる。

【0051】

【式1】

$$\begin{bmatrix} V_{x1} \\ V_{y1} \\ V_{z1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} xx & xy & xz \\ yx & yy & yz \\ zx & zy & zz \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_{x1} \\ A_{y1} \\ A_{z1} \end{bmatrix}$$

【0052】

【式2】

$$\begin{bmatrix} V_{x2} \\ V_{y2} \\ V_{z2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} xx & xy & xz \\ yx & yy & yz \\ zx & zy & zz \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_{x2} \\ A_{y2} \\ A_{z2} \end{bmatrix}$$

【0053】ここで、X軸方向の加速度成分 $A_{x1}$ を100とした場合におけるノイズ振動の加速度成分 $A_{y1}$ の相対比を $\beta$ 、 $A_{z1}$ の相対比を $\gamma$ とすると、第1の電気的出力測定時には下記式3が成立する。

【0054】

【式3】

$$\begin{bmatrix} A_{x1} \\ A_{y1} \\ A_{z1} \end{bmatrix} = \frac{A_{x1}}{100} \begin{bmatrix} 100 \\ \beta \\ \gamma \end{bmatrix}$$

【0055】一方、センサ素子を180°回転後の第2の電気的出力測定時には、ノイズ振動の大きさは同じであるもののセンサ素子に対して全く逆の方向に作用することになるため、 $\beta$ 及び $\gamma$ の符号が逆転し、下記式4が成立する。

【0056】

【式4】

$$\begin{bmatrix} A_{x2} \\ A_{y2} \\ A_{z2} \end{bmatrix} = \frac{A_{x2}}{100} \begin{bmatrix} 100 \\ -\beta \\ -\gamma \end{bmatrix}$$

【0057】式1に対して式3を代入することにより下記式5を、式2に対して式4を代入することにより下記式6を導くことができる。

【0058】

【式5】

$$\begin{bmatrix} V_{x1} \\ V_{y1} \\ V_{z1} \end{bmatrix} = \frac{A_{x1}}{100} \begin{bmatrix} xx & xy & xz \\ yx & yy & yz \\ zx & zy & zz \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 100 \\ \beta \\ \gamma \end{bmatrix}$$

$$= \frac{A_{x1}}{100} \begin{bmatrix} 100xx + \beta xy + \gamma xz \\ 100yx + \beta yy + \gamma yz \\ 100zx + \beta zy + \gamma zz \end{bmatrix}$$

【0059】

【式6】

$$\begin{bmatrix} V_{x2} \\ V_{y2} \\ V_{z2} \end{bmatrix} = \frac{Ax2}{100} \begin{bmatrix} 100xx - \beta xy - \gamma xz \\ 100yx - \beta yy - \gamma yz \\ 100zx - \beta zy - \gamma zz \end{bmatrix}$$

【0060】 既述のように電気的出力を測定する際には、第1の電気的出力を測定する際の振動のX軸方向の加速度成分Ax1と、第2の電気的出力を測定する際の振動のX軸の加速度成分Ax2が等しくなるように振動試験機の入力電圧を調整しているため、下記式7が成り立つ。

【0061】

【式7】

$$Ax1 = Ax2 = Ax$$

【0062】 従って、式5と式6との和からノイズ振動 $\beta$ 、 $\gamma$ の項が消去された、下記式8を導くことができる。式8からはX軸方向の加速度に対するX軸用検出素子の主軸感度 $\alpha x$ 、及びノイズ振動の影響を含まないY軸用検出素子、Z軸用検出素子のノイズ感度 $\gamma x$ 、 $\gamma z$ を求めることができる。

【0063】

【式8】

$$\begin{bmatrix} \alpha x \\ \gamma x \\ \gamma z \end{bmatrix} = \frac{1}{2Ax} \begin{bmatrix} V_{x1} + V_{x2} \\ V_{y1} + V_{y2} \\ V_{z1} + V_{z2} \end{bmatrix}$$

【0064】 一方、式5と式6との差からは下記式9を導くことができる。この場合において、出力成分 $\beta x$ 、 $\gamma y$ 、 $\gamma z$ 、 $\beta y$ 、 $\beta z$ はノイズ振動についてのノイズ感度であるから、ノイズ振動についての主軸感度である出力成分 $\beta yy$ 、 $\gamma zz$ と比較して極めて小さい値となり無視できる。従って、式9は式10のように近似でき、ノイズ振動のY軸方向の加速度成分の相対比 $\beta$ 、Z軸方向の加速度成分の相対比 $\gamma$ の近似値をも求めることができる。

【0065】

【式9】

$$\begin{bmatrix} \beta xy + \gamma xz \\ \beta yy + \gamma yz \\ \beta zy + \gamma zz \end{bmatrix} = \frac{50}{Ax} \begin{bmatrix} V_{x1} - V_{x2} \\ V_{y1} - V_{y2} \\ V_{z1} - V_{z2} \end{bmatrix}$$

【0066】

【式10】

$$\begin{bmatrix} \beta \\ \gamma \end{bmatrix} = \frac{50}{Ax} \begin{bmatrix} \frac{V_{y1} - V_{y2}}{yy} \\ \frac{V_{z1} - V_{z2}}{zz} \end{bmatrix}$$

【0067】 既述のような数学的処理により、振動試験機のノイズ振動の影響を相殺してセンサ素子の主軸感

度とノイズ感度とをいずれも正確に評価することが可能となる。

【0068】 但し、加振機において加わる振動は正弦波であり、例えば振動体が楕円状の軌道を描いて振動する場合等には、主軸振動とノイズ振動の位相は必ずしも一致しない。従って、実際には式11に示すようにノイズ振動の位相遅れ $\theta y$ 、 $\theta z$ を考慮しなければならない点に留意する必要がある。

【0069】

10 【式11】

$$\begin{bmatrix} Ax \\ Ay \\ Az \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Ax \sin(\omega t) \\ Ay \sin(\omega t + \theta y) \\ Az \sin(\omega t + \theta z) \end{bmatrix}$$

【0070】

【実施例】 以下、本発明の感度測定方法について実施例により更に詳細に説明する。本実施例においては振動試験機として図1に示す構造の動電型振動試験機を、電気的出力として電圧を測定することにより行った。

20 【0071】 センサ素子の固定は図4に示す治具2

2、23、26を使用して行った。治具22はセンサ素子20と略同一形状の開口部22cを備えた箱状であって、同軸線21を引き出すための細溝22d、及び四隅にめねじ22a、辺中央にボルト穴22bが形成されている。

【0072】 治具23は平板状であって、治具22と同様に四隅にボルト穴23a、辺中央にボルト穴23bが形成されている。また、治具26は治具22、23と一辺の長さを同じくする正六面体であって、四隅にボルト穴26a、辺中央にめねじ26bが形成されている。更に、振動試験機の振動体28にもめねじ28aを形成し、めねじ28a近傍に標準加速度ピックアップ31を瞬間接着剤で固定した。

【0073】 まず、電荷の検出を行うための同軸線21を半田付けしたセンサ素子20を治具22に接着剤で貼着し、ボルト25を用いて治具23との間にセンサ素子20を挟持するように螺着して固定する（以下、この部材を「固定用部材30」という。）。一方、ボルト27を用いて治具26と振動試験機の振動体28とを螺着して固定し、治具26の水平を水準器で調整しておく。

40 【0074】 次いで、固定用部材30のボルト穴22b、23bと治具26のめねじ26bとを位置合わせし、ボルト24を用いて固定用部材30と治具26とを螺着することにより、センサ素子20と振動試験機の振動体28とを固定した。

【0075】 センサ素子20を図5(b)に示すようにモデル化して説明すれば、センサ素子20をX軸方向に振動させる場合における治具26に対する取付位置は図6(a)に示す位置となり、180°回転させた取付位置は図6(b)に示す位置となる。同様にY軸方向に

ける治具に対する取付位置を示す概略説明図 (a)、  
(b) である。

【図7】 センサ素子をY軸方向に振動させる場合における治具に対する取付位置を示す概略説明図 (a)、  
(b) である。

【図8】 センサ素子をZ軸方向に振動させる場合における治具に対する取付位置を示す概略説明図 (a)、  
(b) である。

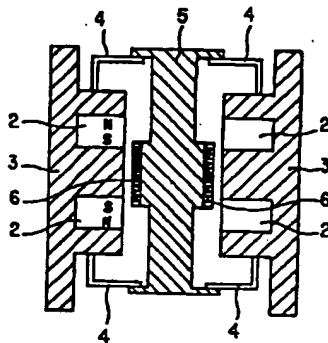
【図9】 センサ素子をX軸方向に振動させた際の測定波形を示すグラフであって、(a)はX軸用素子の出力、(b)はY軸用素子の出力、(c)はZ軸用素子の出力を示す。

\*【符号の説明】

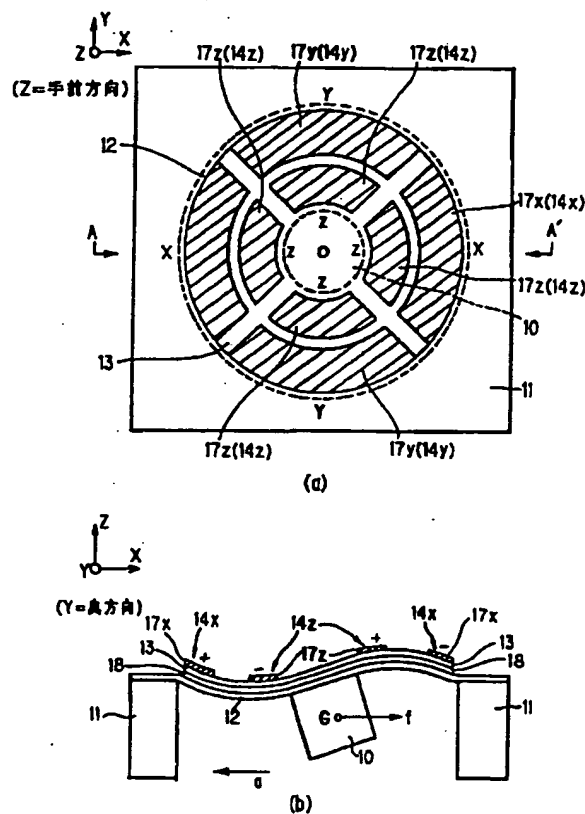
1…振動試験機、2…励磁用コイル、3…基台、4…板バネ、5…振動体、6…駆動用コイル、10…重錘、11…支台、12…可換板、13…圧電体、14…圧電素子、16…円筒状中空部、17…上部電極、18…下部電極、20…センサ素子、21…同軸線、22、23…治具、24、25…ボルト、26…治具、27…ボルト、28…振動体、29…ダミー治具、30…固定用部材、31…標準ピックアップ、32a…ボンディングパッド (上部電極)、32b…ボンディングパッド (下部電極)。

\*

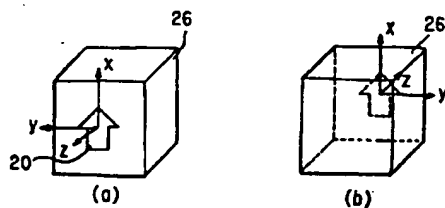
【図1】



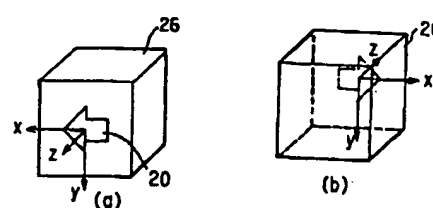
【図2】



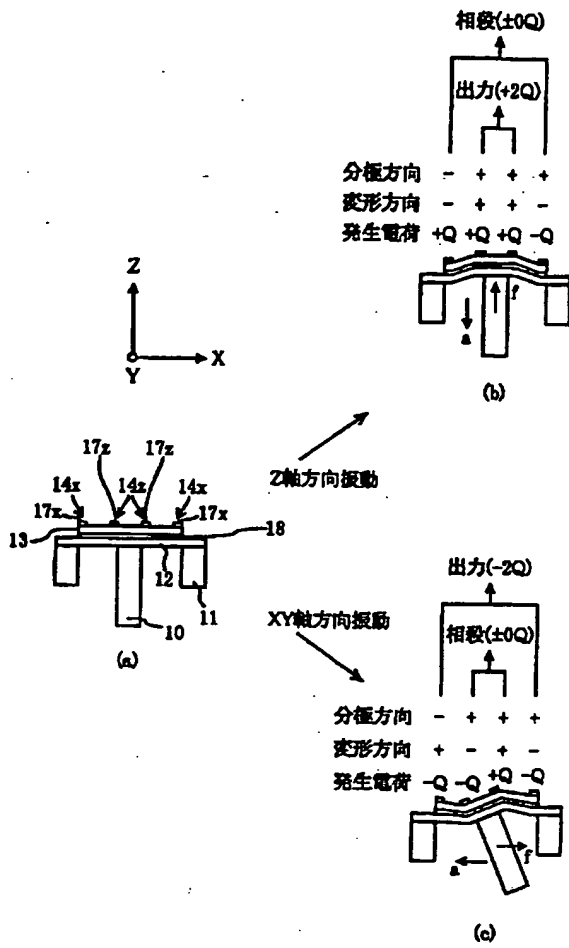
【図6】



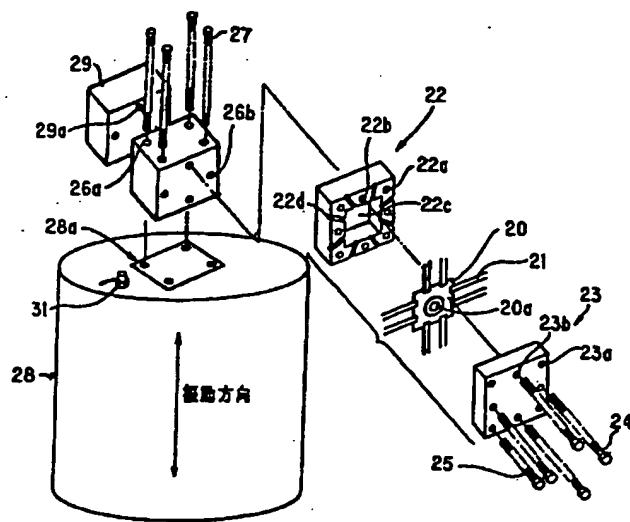
【図7】



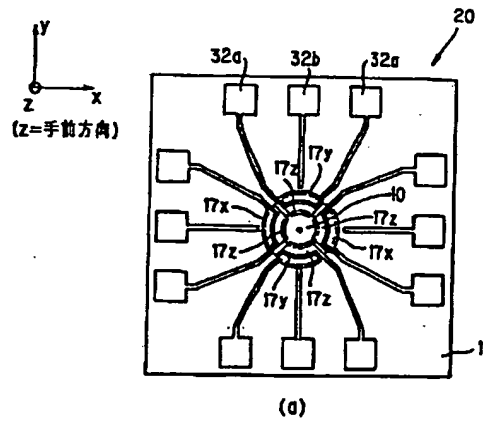
【図3】



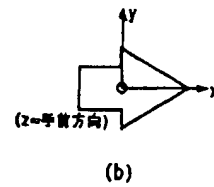
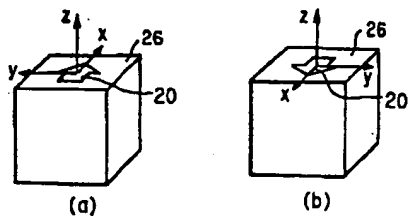
【図4】



【図5】



【図8】



振動させる場合には図7、Z軸方向に振動させる場合には図8に示す位置にセンサ素子20を取り付けられよ

【0076】 なお、X、Y軸を測定対象とする場合には固定用部材30は、治具26の側面に取り付けられるため、治具26の固定用部材30を取り付けた面の裏面に固定用部材30と同一形状、同一重量のダミー治具29を螺着して固定し、重量を均衡させた。

【0077】 まず、図6(a)の位置にセンサ素子20を含む固定用部材30を固定し、振動周波数80Hzにおいて、振動試験機の振動体28に貼着された標準ピックアップ31のX軸方向の最大加速度 $A_{x1}$ が $10\text{ m/s}^2$ の正弦波となるように振動試験機の振動を調整した。この状態において、センサ素子20からの第1の電\*

\* 氣的出力、即ち各軸用の圧電素子に発生した電圧の測定値 $V_{x1}$ 、 $V_{y1}$ 、 $V_{z1}$ 、及び各々の振動の位相について測定した。

【0078】 また、固定用部材30とダミー治具29の取付位置を入れ替えて（即ち、 $180^\circ$ 回転させた位置で取り付けて）、同様にX軸方向の最大加速度 $A_{x2}$ が $10\text{ m/s}^2$ の正弦波となるように振動試験機の振動を調整し、センサ素子20からの第2の電氣的出力、即ち各軸用の圧電素子に発生した電圧の測定値 $V_{x2}$ 、 $V_{y2}$ 、 $V_{z2}$ 、及び各々の振動の位相遅れについて記録した。これらの結果を表1及び図9(a)～(c)に示す。

【0079】

【表1】

	感度出力 (mV)			位相遅れ (msec)		
	X軸用素子	Y軸用素子	Z軸用素子	X軸用素子	Y軸用素子	Z軸用素子
第1の電圧	50	1.0	2.1	0.0	0.7	-1.6
	$V_{x1}$	$V_{y1}$	$V_{z1}$			
第2の電圧	50	2.8	2.5	0.0	-0.3	1.3
	$V_{x2}$	$V_{y2}$	$V_{z2}$			

【0080】 更に、図9(a)～(c)に示すように、第1の電圧の測定値 $V_{x1}$ 、 $V_{y1}$ 、 $V_{z1}$ 、第2の電圧の測定値 $V_{x2}$ 、 $V_{y2}$ 、 $V_{z2}$ から、各軸毎に第1の電圧の測定値と第2の電圧の測定値との和の $1/2$ 、※30

※ 差の $1/2$ のグラフをそれぞれ作図し、各々のグラフにおけるピーク値を読みとった。その結果を表2に示す。

【0081】

【表2】

	感度出力 (mV)			位相遅れ (msec)		
	X軸用素子	Y軸用素子	Z軸用素子	X軸用素子	Y軸用素子	Z軸用素子
和の $1/2$	50	1.8	1.7	0.0	0.0	0.0
	$\frac{V_{x1}+V_{x2}}{2}$	$\frac{V_{y1}+V_{y2}}{2}$	$\frac{V_{z1}+V_{z2}}{2}$			
差の $1/2$	0.0	1.0	1.5	0.0	0.8	3.4
	$\frac{V_{x1}-V_{x2}}{2}$	$\frac{V_{y1}-V_{y2}}{2}$	$\frac{V_{z1}-V_{z2}}{2}$			

【0082】 同様にして、センサ素子20を図7の位置に取り付けてY軸を測定対象とした場合における、図8の位置に取り付けてZ軸を測定対象とした場合における、第1及び第2の電圧の測定値、並びに振動の位相遅れを測定し、第1の電圧の測定値と第2の電圧の測定値との和の $1/2$ 、差の $1/2$ のグラフをそれぞれ作図

し、各々のグラフにおけるピーク値を読みとった。その結果を、表3、表4に示す。

【0083】

【表3】

13

	感度出力 (mV)		
	X軸用 素子	Y軸用 素子	Z軸用 素子
和の1/2	1.1	50	1.1
	$\frac{V_{x1}+V_{x2}}{2}$	$\frac{V_{y1}+V_{y2}}{2}$	$\frac{V_{z1}+V_{z2}}{2}$
差の1/2	1.1	0.0	1.7
	$\frac{V_{x1}-V_{x2}}{2}$	$\frac{V_{y1}-V_{y2}}{2}$	$\frac{V_{z1}-V_{z2}}{2}$

【0084】

【表4】

	感度出力 (mV)		
	X軸用 素子	Y軸用 素子	Z軸用 素子
和の1/2	2.5	0.2	50
	$\frac{V_{x1}+V_{x2}}{2}$	$\frac{V_{y1}+V_{y2}}{2}$	$\frac{V_{z1}+V_{z2}}{2}$
差の1/2	1.6	1.2	0.0
	$\frac{V_{x1}-V_{x2}}{2}$	$\frac{V_{y1}-V_{y2}}{2}$	$\frac{V_{z1}-V_{z2}}{2}$

【0085】 表2～表4の結果より、センサ素子のX、Y、Z各軸毎の主軸感度の絶対値が表5に示すように、ノイズ感度の相対値が表6に示すように算出される。また、振動試験機由来のノイズ振動の相対値（近似値）が表7に示すように算出される。

【0086】

【表5】

	感度出力 (mV)		
	X軸用 素子	Y軸用 素子	Z軸用 素子
主軸感度 (絶対値)	50	50	50

【0087】

【表6】

14

	感度相対値 (%)		
	X軸用 素子	Y軸用 素子	Z軸用 素子
X軸方向 加振時	100	4	3
	xx	yx	zx
Y軸方向 加振時	2	100	2
	xy	yy	zy
Z軸方向 加振時	5	0	100
	xz	yz	zz

10

【0088】

【表7】

	振動相対値 (%)		
	X軸方向 振動	Y軸方向 振動	Z軸方向 振動
X軸方向 加振時	100	2	3
	—	$\beta$	$\gamma$
Y軸方向 加振時	2	100	3
	$\beta$	—	$\gamma$
Z軸方向 加振時	3	2	100
	$\gamma$	$\beta$	—

20

【0089】

【発明の効果】 以上説明したように、本発明の感度評価方法によれば、振動試験機に由来するノイズ振動の影響を排除することができ、加速度センサ素子の主軸感度とノイズ感度とをいずれも正確に評価することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

40 【図1】 振動試験機の例を示す概略断面図である。

【図2】 本発明に使用するセンサ素子の一の実施例を示す概略説明図であって、(a)は上面図、(b)はA-A'断面図である。

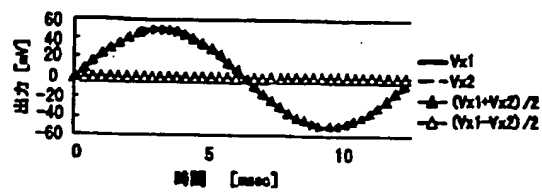
【図3】 本発明に使用するセンサ素子の作動状況を示す概略説明図(a)、(b)、(c)である。

【図4】 センサ素子と振動試験機との固定方法の例を示す概略斜視図である。

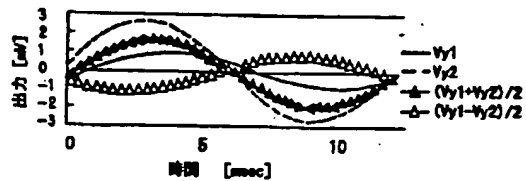
【図5】 (a)はセンサ素子の実際の形状を示す上面図、(b)はセンサ素子をモデル化した図である。

50 【図6】 センサ素子をX軸方向に振動させる場合にお

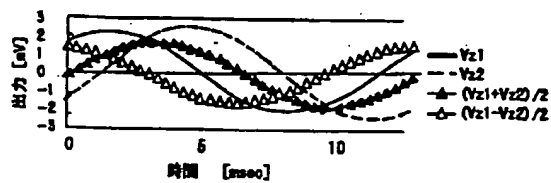
【図9】



(a)



(b)



(c)

フロントページの続き

(72)発明者 柴田 和義

愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号 日  
本碍子株式会社内

(72)発明者 安藤 秀樹

愛知県小牧市大字下末字五反田434番地の  
3 エヌジーケー・オプトセラミックス株  
式会社内